6Г

УДК 004.896

В.Ф. Головин
Московский государственный индустриальный университет, Россия
medicalrobot@mail.ru

Интеллектуальное биотехническое управление роботом для восстановительной медицины

Рассматривается возможность управления роботами для восстановительной медицины с использованием биологических обратных связей. Система управления роботом становится более развитой интеллектуально. Три агента (пациент, робот, врач) задействованы во взаимных двусторонних связях. Более сложными становятся проблемы ответственности за принятие решения и безопасности. Показывается необходимость привлечения методов искусственного интеллекта.

Центральной парадигмой восстановительной медицины является здоровье здоровых, сохранение и пополнение резервов здоровья населения. Эта парадигма поддерживает, например, идею оздоровительного повседневного массажа здоровых людей. Цель – повышение работоспособности физической и творческой деятельности, в частности, университетских работников и студентов. Об актуальности оздоровительного массажа в повседневной жизни здоровых людей в 1882 году писал в своей диссертации «Материалы к вопросу о действии массажа на здоровых людей» русский учёный Н.В. Заблудовский. Тогда это было фантастикой, и учёный лишь мечтал о возможности дозирования воздействий на аппаратных средствах будущего. В настоящее время мечты великого предсказателя могут быть реализованы при обращении к развитой адаптивной интеллектуальной робототехнике.

Проблема для медицины, в первую очередь, состоит в развитии концепции Н.В. Заблудовского о новом подходе к физической культуре человека с участием не только волевых движений, но и массажа. Массаж может иметь как функцию релаксации, так и мобилизации. В оптимальном сочетании этих функций физическая культура сможет в большей степени способствовать сохранению и повышению запасов здоровья и повышению работоспособности в физическом и умственном труде [1]. Во-вторых, необходима разработка методологии физической культуры с участием робототехники. Потенци-ально роботы обладают определёнными достоинствами в сравнении с руками врача, например, в части дозирования усилий, точности повторения движений и, конечно, в части неутомляемости. но, пока руки врача обладают значительно большими манипуляционными и контрольными возможностями.

В настоящее время некоторый опыт в работе со здоровыми людьми приобретён при исследованиях с роботом РМ-01. Это шестистепенной робот, одна из версий базовой модели робота Puma американской фирмы Unimation. Некоторые работы начаты с роботом KR 16 немецкой фирмы Kuka. Робот KR 16 имеет такую же кинематическую модель, примерно такие же размеры и развиваемые усилия, как робот РМ-01, но в сравнении с российским роботом является более «свежим» (выпуск 2006 г.), со значительно большими программными возможностями. Некоторый опыт работы с роботом РМ-01 [2] и добровольцами говорит о всегда положительных эмоциях в восприятии пациентом инструментов робота и их движений. Проведена специальная

работа по сравнению восприятия пациентом рук робота и врача. Если врач адаптирует свои движения под движения робота, чаще всего, пациент не отличает руки робота и врача. Это даёт определённый оптимизм в дальнейшей адаптации теперь уже руки робота к руке врача. Многие из движений врача при массаже робот повторяет, выдерживая заданные усилия. Прежде, чем исследовать терапевтический эффект от руки робота, естественно знать терапевтический эффект от рук врача, особенно при исследовании прогресса в реабилитации пациентов со значительными патологиями и повреждениями, а затем проводить исследования в оздоровительном массаже.

Поскольку связи между параметрами воздействий и параметрами состояния пациента интерпретируются врачами с допускаемыми нечёткостями, то возможными методами анализа и синтеза системы биотехнического управления могут быть мягкие вычисления на основе нечётких логик, нейросетей и гибридных сетей [3]. Нечёткость является лишь одной из граней недетерминированности [4]. Она возникает в процессе объединения нескольких объектов, имеющих одно и то же свойство. Это объединение имеет размытые границы. В случае указанных выше параметров нечеткими являются представления о связях между параметрами. Другой гранью недетерминированности является неопределённость, возникающая из-за недостатка знаний, относящихся к появлению события. Формой неопределённости является случайность, вводимая вероятностными характеристиками. В данной системе описание силового взаимодействия робота с пациентом в большей степени определяется случайными процессами, в частности связанными с индивидуальным рельефом тела каждого пациента, индивидуальными упругими свойствами мягких тканей. Предлагаемая биологическая обратная связь по измеряемым параметрам состояния пациента предполагает пассивное, бессознательное участие пациента в процедуре. Однако биологическая обратная связь эффективно может использоваться как активная, учитывающая сознательное определение состояния самим пациентом. Это могут быть сигналы, подаваемые пациентом вербально, джойстиком, пневмогрушей [5].

С учётом реализации биологических обратных связей система управления роботом становится более развитой, чем эргатическая человеко-машинная система. Действительно, во взаимных двухсторонних связях оказываются три объекта: пациент, робот, врач. Появляется проблема принятия решений, не всегда решаемая с приоритетом врача.

Биологическая обратная связь образует внешний контур системы управления роботом. Внутренним подчинённым является контур позиционно-силового управления. Необходимость в этом контуре вызвана адаптацией робота к индивидуальным физическим особенностям пациента. Из возможных способов адаптации позиционно-силовое управление является, пожалуй, самым естественным. Действительно, существует ассоциация незрячих массажистов, у которых недостаток зрительной информации восполняется более тонкой осязательной чувствительностью. Для многосуставных роботов предпочтительно размещение многокомпонентного датчика между конечным звеном манипулятора инструментом или схватом, что даёт возможность непосредственно измерять вектор усилия взаимодействия робота с пациентом. Известные алгоритмы позиционно-силового управления, направленные на механообработку конструкционных материалов, должны быть адаптированы на мягкие ткани [2], [6]. Специфика деформирования мягких тканей состоит в пространственном деформировании, в отличие от резания конструкционных материалов, когда инструмент прижимается к обрабатываемой поверхности. Для мягких тканей это деформации и сжатия, и растяжения, и кручения, и сдвига, и изгиба.

Поскольку речь идёт о внедрении робототехники в медицину, очевидно, соблюдение первой заповеди медиков – «Не навреди!». Поэтому на робототехнику переносятся все проблемы обеспечения безопасности, свойственные медицинской технике [7]. Так как медицинский робот является активным и «разумным», то система безопасности организуется в нескольких уровнях: программных и аппаратных. Самый верхний уровень отключения робота или отведения его руки от пациента, в первую очередь, предоставляет приоритет врачу, а затем пациенту. Это отключение или отведение руки можно осуществлять рядом аварийных кнопок, в том числе рукой пациента. Позиционно-силовое управление робота позволяет отводить руку при непредвиденном превышении задаваемого усилия по сигналу силового датчика. Алгоритм аварийного биотехнического управления отключает робот или отводит руку в случае превышения какого-либо параметра состояния пациента над задаваемым для данного пациента. Чтобы избежать установки ошибочных режимов или программ перед манипуляциями на пациенте, робот выполняет ряд тестов, в том числе, проводя инструмент по контрольным точкам.

В предположении положительного решения отмеченных выше проблем открытым остаётся вопрос – оптимистична ли реализация роботов для восстановительной медицины? Почему с начала исследований – получения патента в 1997 г. – существенный прогресс не заметен? Возможно, что недостаточные исследования не позволяют пока разомкнуть круг из двух вопросов. Вопрос медиков к инженерам – не слишком ли сложны и дороги такие роботы? Вопрос инженеров к медикам – какую серию выпускать, будет ли спрос?

Литература

1. Здоровье здоровых, научные основы восстановительной медицины / Под ред. А.Н. Разумова, В.И. Покровского – М.: РАМН, РНЦ ВМиК, 2007.
2. Головин В.Ф. Мехатронная система для манипуляций на мягких тканях // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2002. – № 7.
3. Golovin V., Zhuravlev V., Arkhipov M. The medical robotics control in conditions of uncertainties // Труды 4 Междунар. конф. «Участие молодых учёных в реализации инновационных технологий». – М.: МГИУ, 2006.
4. Новак В., Перфильева И., Мочкорж И. Математические принципы нечёткой логики. – М.: Физматлит, 2006. – 352 с.
5. Оглоблин С.И., Молчанов А.Ю. Инструментальная детекция лжи. – М.: Нюанс, 2004. – 464 с.
6. Головин В.Ф., Разумов А.Н., Рачков М.Ю., Журавлёв В.В. Модуль силовой адаптации медицинского робота // Информационно-измерительные и управляющие системы, спец. выпуск – М.: изд-во «Радиотехника». – 2006. – Т.4, №1-3.
7. Головин В.Ф., Никифорова В.А. Безопасность медицинской техники // Труды конференции «Экстремальная робототехника». – СПб., 2006.

V.F. Golovin

Intellectual Biotechnical Robot Control for Restorative Medicine

The possibility of robot control for restoration medicine with using of biofeedback is considered. The control system is become more developed intellectually then usual argatic man-machine system. Really, three agents (patient, robot, physician) are found in mutual double-sided connections. The problems of responsibility, safety are complicated. The necessity of using of artificial intellect is considered.

Статья поступила в редакцию 10.07.2008.